

# 唾液アミラーゼ活性を指標とした 河川・湖沼のストレス軽減効果把握の試み

## EVALUATION OF HEALING EFFECTS FROM RIVER AND LAKE USING SALIVARY AMYLASE ACTIVITY

本宮和英<sup>1</sup>・二瓶泰雄<sup>2</sup>

Kazuhide MOTOMIYA and Yasuo NIHEI

<sup>1</sup>非会員 学(工) 東鉄工業(株) (元東京理科大学学部生)

<sup>2</sup>正会員 博(工) 東京理科大学准教授 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)

To evaluate quantitatively healing effects from river and lake, we measured psychological stress at four sites using salivary amylase activity, one of useful stress markers. In each field site, measuring points are located near waterfront and urban area in the neighborhood of it. In the field tests, normal subjects listen first to unpleasant music for 20 minutes, then move to a measuring point and have a rest for 30 minutes while measuring regularly salivary amylase activity. The measured results indicate that the levels of salivary amylase activity in waterfront are quite larger than those in urban area. These tendencies are dominant in natural rivers and lakes with high water amenity. Relations between the above healing effects from waterfronts and thermal and sound environments are discussed.

**Key Words:** *salivary amylase activity, psychological stress, healing effect, waterfront*

### 1. 序論

今日の河川管理技術は、治水や利水、環境保全を目的として一定の成果を上げつつある。今後、河川管理技術をさらに展開するには、河川が有する機能を新たに発掘・創造し、河川空間の利用価値向上や河川整備の需要増加に繋がる河川づくり・水辺づくりが必要となる。その一つとして、河川を含む水辺整備に医療や福祉に配慮することが提唱されており<sup>1), 2)</sup>, その際には水辺が有すると言われる“ストレス軽減効果(癒し効果)”が着目されている。この水辺の癒し効果とは、水辺周辺に出掛けて、遊んだり周辺を散策して水辺から心地よい刺激を受け、人々がリラックスできることであり、多くの人々が何らかの形でこのように感じたことがあると思われる。

水辺環境における癒し効果に関する実証研究はいくつか報告されている。例えば、宮本ら<sup>3)</sup>は、水辺とそこから十分離れた市街地において、血圧などの身体項目や脳波等を計測し、水辺の方が多くの計測項目においてリラックス効果を示していることを報告した。また、秋田県・本庄第一病院<sup>4)</sup>を始めとして、水辺の癒し効果を実際の医療や福祉の現場にも取り入れた先進的事例も報告されている<sup>2)</sup>。しかし

ながら、水辺の癒し効果の定量的な評価事例はまだ非常に少なく、かつ、どのような水辺環境において癒し効果が発現するかは未解明である。そのため、ストレス軽減を目的とした水辺作りについては未だ模索段階である。

本研究では、ストレス度合いを定量評価するための指標として注目され、簡易・短時間計測が可能な“唾液アミラーゼ活性<sup>5)</sup>”を用いて、水辺環境におけるストレス軽減効果を定量評価することを目的とする。具体的には、4つの水域(河川や湖沼)における水際、周辺の市街地、それらの中間地点を対象として、被験者の唾液アミラーゼ活性計測や周辺環境調査を行い、水辺のストレス軽減効果を把握するとともに、その要因について検討することを試みる。

### 2. 研究方法

#### (1) 唾液アミラーゼ活性について<sup>5)</sup>

精神的ストレス等を引き起こす外的刺激を与えられた場合、その刺激は人体では末梢神経を介して脳に伝えられ、脳から交感神経系や内分泌系を介して全身に伝えられる。ストレスの評価指標(ストレスマーカー)としては、脳波や血圧、心拍数、心電図



図1 本論文で使用した唾液アミラーゼ活性計測装置 (唾液アミラーゼモニター, ニプロ製)

等の物理項目や血液や唾液, 尿等に含まれる化学物質濃度等の化学項目 (バイオマーカー) が挙げられる。近年では, 交感神経系・内分泌系に関する化学計測により, 物理計測では捉えられないストレス評価が可能となっていることが報告されている<sup>5)</sup>。

この化学項目におけるストレスマーカーとして, 唾液中の $\alpha$ -アミラーゼ分泌 (唾液アミラーゼ活性) が近年注目を集めている<sup>5)</sup>。唾液成分の計測は, 血液と比べて, サンプル採取において苦痛なく誰でも実施可能であり, 少しのサンプル量で済むというメリットがある。さらに, 唾液アミラーゼ活性はストレスに対する応答が比較的早く, 既に安価な簡易計測装置も開発されており, 河川等の野外調査も容易に実施可能である。そのため, 本論文では, ストレスマーカーとして唾液アミラーゼ活性を採用する。本マーカーは短期的なストレス変化を良好に捉えるが, 長期変化には適用できるかは不明である<sup>5)</sup>。

この唾液アミラーゼ活性の計測に際しては, 唾液を採取する専用チップと本体 (唾液アミラーゼモニター, ニプロ製) を用いる (図1)。具体的な作業手順としては, 専用チップを口に咥え, チップ先端の唾液採取面を舌の裏側に30秒間付け, 携帯可能な本体にこのチップを差しこみ, 約1分後に分析が終わる。このように, 唾液アミラーゼ活性の計測を2分以内で実施することが可能である。

## (2) 試験エリア

水辺のストレス軽減効果を抽出するために, タイプの異なる4つの河川と湖沼を試験エリアとして選定した。具体的には, 図2に示すように, 複断面河道を有し親水性の高い河川 (江戸川, 大堀川), 単断面河道で親水性の低い河川 (江川), 富栄養化が著しいが親水性がある湖沼 (手賀沼) の4つを試験エリアとしている。また, 各エリアにおいて, 表1に示

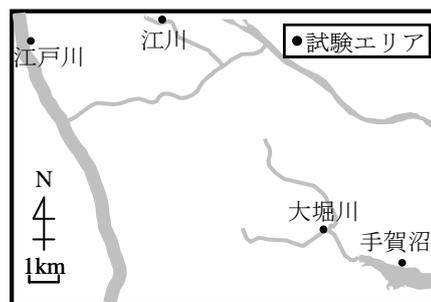


図2 試験エリアの位置

表1 試験地点の概要 (括弧内の数字は水際からの直線距離を示す)

	中間	市街地
江戸川	堤防上 (47m)	工場横 (100m)
大堀川	堤防上 (12m)	道路脇 (45m)
江川	道路上 (1.5m)	住宅地 (20m)
手賀沼	公園内 (49m)	道路脇 (100m)

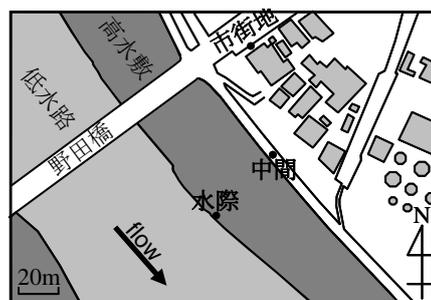


図3 江戸川における試験地点

すように, 「水際」, 「水際から十分離れた市街地」, 「中間地点」という環境が異なる3箇所を試験地点としている。これにより, 各地点における唾液アミラーゼ活性値を比較して, 水辺のストレス軽減効果を抽出する。各エリアの「水際」は, 江川以外では水際から1~2m以内の地点, 単断面河道である江川では水際に近づけないため橋上中央部の地点としている。「市街地」は, 「水際」から十分離れた交通量の多い道路か住宅街であり, 「中間」の地点は河川では堤防天端, 湖沼では水際と市街地のほぼ中間に位置する。地点配置の代表例として, 江戸川における計測地点マップを図3に示す。

## (3) 試験概要

水辺のストレス軽減効果を明瞭に抽出するために, 試験地に到着する前に, 被験者に何らかのストレスを与え, その後のストレス度合いの減少状況を地点毎に比べる。その際, ストレス負荷を与える方法としては, 一般に「ヘヴィメタル」と呼ばれる, 好み

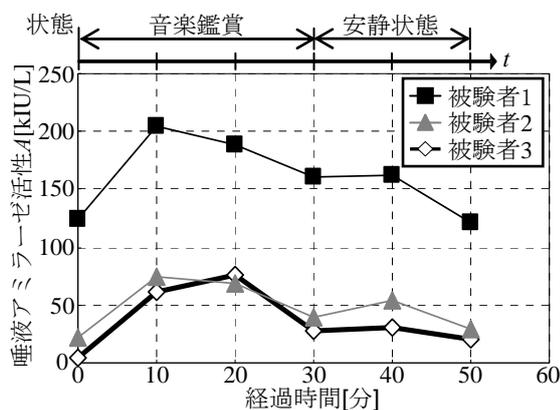


図4 予備試験における唾液アミラーゼ活性の時間変化 (室内)

の人を除き不快になると思われる音楽を一定時間聞くこととする。このストレス負荷方法の有効性を確認するために、予備試験として、上記音楽を30分間聞き、その後安静にした時における唾液アミラーゼ活性計測値の時間変化を図4に示す。ここでは、被験者3名が室内にいる状況下での結果である。これより、唾液アミラーゼ活性は、音楽鑑賞開始直後に大きく増加し、安静状態に移行した開始30分以降には減少している様子が見られる。このように、音楽鑑賞は被験者に対して一定のストレスを負荷していることが分かる。また、唾液アミラーゼ活性計測の応答速度は極めて早いことが伺える。

上記の結果を反映して、本試験では、以下の手順に従って進める(図5上部参照)。

- Step1: 車内にて20分間音楽を鑑賞する。
- Step2: 各試験地点(市街地, 中間, 水際)まで5分以内に徒歩で移動する。
- Step3: 各試験地点にて安静もしくは散歩等をして20~30分間待機する。

この際には、唾液アミラーゼ活性の計測を試験開始後0, 10, 20, 25, 35, 45, 55分に行う。なお、被験者としては、20~25歳の男女を対象とし、各試験地点に2人(男性1人, 女性1人)ずつの被験者を配置している。

さらに、上記のストレス計測と並行して、各試験地点の大気環境(温湿度・風速・騒音)や水域の水質環境(水温・濁度等)を計測した。これらの計測には、それぞれマルチ環境測定器(LM-8102, 佐藤商事(株)製)と多項目水質計(Datasonde5x, 環境システム(株)製)を用いている。

また、観測日としては、夏期(2010/8/27, 9/6)と秋期(同年11/11, 22)に一回ずつ試験を行っている(江川では夏期のみ)。時間帯はいずれも日中である。また、騒音レベルの計測は秋期のみ実施している。

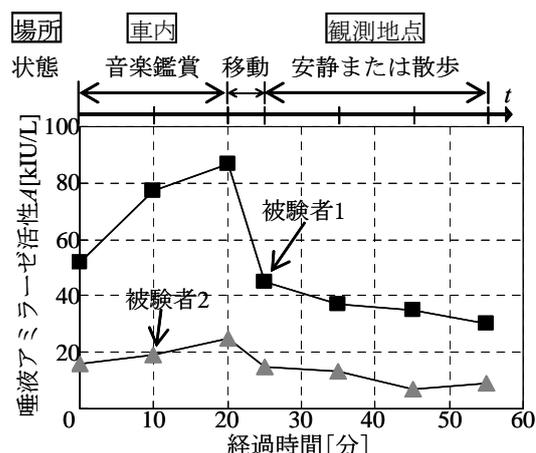


図5 唾液アミラーゼ活性 A の生データの時間変化 (夏期, 手賀沼・水際)

### 3. 結果と考察

#### (1) 唾液アミラーゼ活性の時間変動パターン

唾液アミラーゼ活性の生データの特徴を見るために、夏期・手賀沼における水際での唾液アミラーゼ活性 A の時間変化を図5に示す。ここでは、二人の被験者の結果を表示する。これより、二人ともに、唾液アミラーゼ活性 A は車内で不快な音楽を聞き始めて上昇し、車外に出て水際地点に移動し安静にしている時には徐々に下降している。このように、予備試験と同じく音楽鑑賞によるストレス増加が見られるとともに、観測地点移動後のストレス減少も生じており、本試験前に意図した結果が概ね再現されている。しかしながら、唾液アミラーゼ活性の絶対値は被験者により大きく異なり、同じ傾向は他のデータでも確認された。そのため、生データのみからストレス軽減効果を議論するのは難しい。

この唾液アミラーゼ活性データの個人差を無くすため、「無次元唾液アミラーゼ活性 A'」を導入する。ここでは音楽鑑賞時のストレス度合いが一つの基準になると考え、時々刻々の唾液アミラーゼ活性の計測値を音楽鑑賞時のストレスを最も受けた開始20分後の値で除して無次元化する。その結果の一例として、夏期・手賀沼における市街地・中間・水際地点の無次元唾液アミラーゼ活性 A' の時間変化を図6に示す。ここでは各地点2名、計6名の被験者データを示す。これより、同一地点における被験者間のデータの違いは、生データ(図5)と比べると減少しており、唾液アミラーゼ活性の無次元化の有効性が確認できる。また、無次元唾液アミラーゼ活性 A' は時間と共に概ね減少傾向であることが全地点において確認される。しかしながら、無次元唾液ア

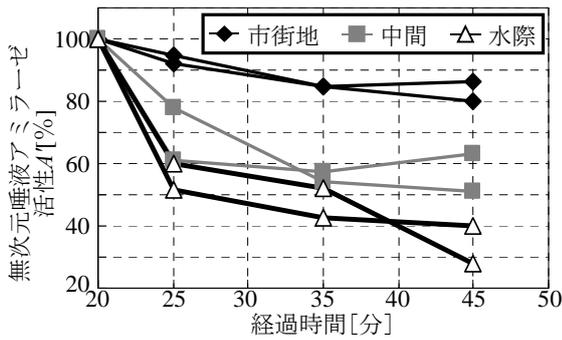


図6 無次元唾液アミラーゼ活性  $A'$  の時間変化 (手賀沼, 夏期)

ミラーゼ活性  $A'$  の減少度合いは地点により異なり、水際 > 中間 > 市街地の順により大きく減少していることが分かる。このように、無次元唾液アミラーゼ活性  $A'$  が地点間で異なっている様子が伺える。

## (2) ストレス低減効果の空間変化

各地点におけるストレス軽減効果を比較するために、試験地点到着後 (試験開始 25~45 分) における無次元唾液アミラーゼ活性の平均値  $\bar{A}'$  をまとめたものを図7に示す。ここでも、図6と同じく夏期・手賀沼におけるデータを用いる。また、全被験者 6 名分を対象とし、男女別に色分けしている。これより、各地点における無次元唾液アミラーゼ活性の平均値  $\bar{A}'$  は、被験者間の差が小さい。地点間で比較すると、この無次元値  $\bar{A}'$  は、市街地では 87%、中間では 60%、水際には 45% となっており、水際に近いほどストレス軽減効果が向上している。なお、ここでは、同一地点における被験者間の差は無次元値を導入することによりほとんど見られないが、他の地点では多少は見られることに注意されたい (後述の図10参照)。

より詳細に見るために、同じ無次元唾液アミラーゼ活性の平均値  $\bar{A}'$  をエリア毎にまとめたものを図8に示す。ここでは、各地点における2名のデータの平均値を記載している。また、夏期と秋期における各地点の市街地・中間・水際地点の結果が表示されている。前述したように、江川では観測が行われた夏期の結果のみが示されている。これより、江川を除く全ての結果において、無次元唾液アミラーゼ活性の平均値  $\bar{A}'$  は水際 < 中間 < 市街地という大小関係となっており、水辺におけるストレス軽減効果が明瞭に現れていることが分かる。また、江川でも市街地よりも水辺や中間地点の方が無次元唾液アミラーゼ活性の平均値  $\bar{A}'$  は小さくなっており、水辺の癒し効果がやや見られる。このように、水辺にお

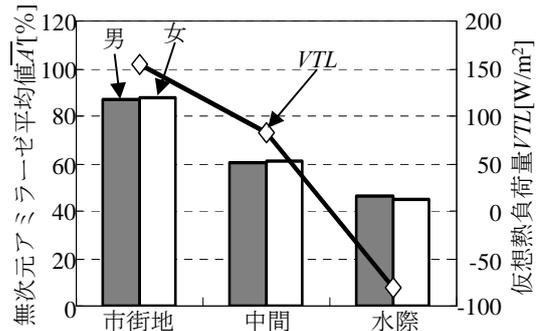
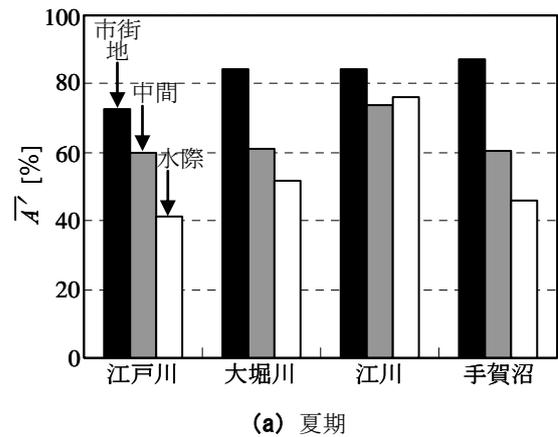
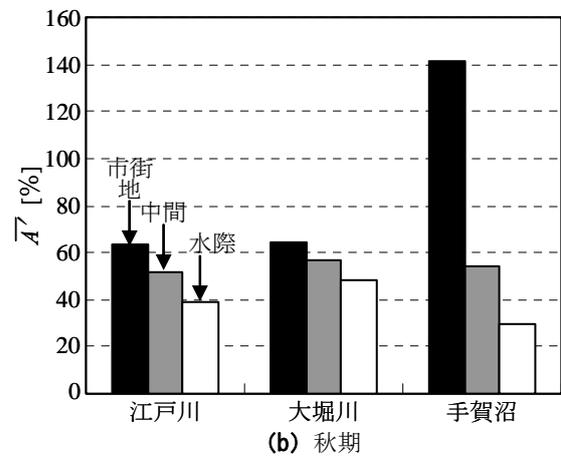


図7 無次元唾液アミラーゼ活性の平均値  $\bar{A}'$  と仮想熱負荷量  $VTL$  の関係 (手賀沼, 夏期)



(a) 夏期



(b) 秋期

図8 各エリアにおける無次元唾液アミラーゼ活性の平均値  $\bar{A}'$  の比較

るストレス軽減効果は全エリアにおいて確認されるものの、親水性の高い江戸川・大堀川・手賀沼では相対的に高く、親水性の低い江川では相対的に低くなっており、水辺環境の違いによりストレス軽減効果に大きな差があることが明らかとなった。なお、秋期手賀沼・市街地の  $\bar{A}'$  は 100% を越えており、車内の音楽鑑賞時よりも市街地にいる時の方がストレスが高いことを意味する。大堀川や江戸川よりも手賀沼の「市街地」地点の方が平均的に交通量が多かったのが上記の原因と考えられる。

### (3) ストレス軽減効果の要因

上述したように、親水性の高い水辺において明確に現れたストレス軽減効果の要因を調べるために、水辺とその周囲における熱環境と音環境の違いに注目する。

#### a) 熱環境

熱環境としては、不快指数など様々な温熱環境指標のうち、神田ら<sup>6)</sup>が提案している、屋外における人体の熱環境を適切に評価可能な仮想熱負荷量  $VTL$  (Virtual Thermal Load) を指標として採用する。この仮想熱負荷量  $VTL$  は、代謝量  $M$ 、純放射量  $Rn$ 、顕熱  $C$ 、潜熱  $E$  とすると、

$$VTL = M + Rn - C - E \quad (1)$$

ここで、式中の各項の設定方法は、基本的に、神田ら<sup>6)</sup>に準ずる。すなわち、代謝量  $M$  には静止状態として想定される一定値 ( $=50W/m^2$ ) を、顕熱  $C$  には皮膚顕熱と呼気顕熱の和を、潜熱  $E$  には発汗蒸発量と皮膚表面からの蒸発量の一部の和を、それぞれ与えている。また、純放射量には、人体における短波・長波放射の収支を簡便に考慮しており、その際のアルベドは  $0.3$  としている。

この仮想熱負荷量  $VTL$  の算出結果の一例として、夏期・手賀沼における結果を無次元唾液アミラーゼ活性平均値  $\bar{A}$  と合わせて図7に示す。この  $VTL$  は、各地点における唾液アミラーゼ活性計測中において複数回計測された気象データの平均値を用いて算出されている。これより、市街地や中間地点は正の  $VTL$  となっている一方、水際には夏期にも関わらず負の  $VTL$  となっている。この時の気象状況としては、手賀沼内から周囲に向かって風が吹く“発散風”となっており、水際地点では  $7m/s$  の風速が観測されているものの、市街地地点では周囲の地物の空気抵抗を受けたため風速レベルは  $2m/s$  程度まで低下していた。また、湖面上における相対的に冷たい空気塊は水際地点を通過した後、市街地の地表面上で暖められ、市街地地点の気温は水際地点よりも約  $1^{\circ}C$  高かった。それらの結果を反映して、水際における熱環境緩和効果が顕在化しており、それが水辺におけるストレス軽減効果に対して寄与したものと思われる。

熱環境とストレス軽減効果の関係を広範に見るために、各地点における無次元唾液アミラーゼ活性の平均値  $\bar{A}$  と仮想熱負荷量  $VTL$  の相関図を図9に示す。ここでは、図8に示したように水辺のストレス軽減効果が相対的に不明瞭だった江川の観測結果以外の全データ (夏期・秋期) を対象とし、地点別に分けて表示している。また、各地点のデータに対す

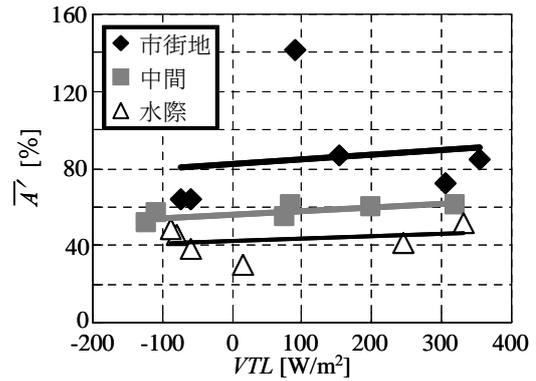


図9 無次元唾液アミラーゼ活性の平均値  $\bar{A}$  と仮想熱負荷量  $VTL$  の関係 (江戸川, 大堀川, 手賀沼)

る近似直線も参考のために図示している。これより、全体的には、各地点における無次元唾液アミラーゼ活性の平均値  $\bar{A}$  は仮想熱負荷量  $VTL$  と共に増加する傾向が見られ、熱負荷がストレスを与えていることが伺える。一方、水際のデータに関しては、仮想熱負荷量  $VTL$  が負の範囲では、 $VTL$  と  $\bar{A}$  は逆相関となっているように見受けられる。これより、過剰な正や負の熱負荷の場合にはストレスを受け易くなっていることが分かる。ただし、同一の仮想熱負荷量  $VTL$  では、無次元唾液アミラーゼ活性の平均値  $\bar{A}$  は水際で低く、市街地で高くなっており、熱環境以外の要素がストレス軽減効果に寄与していることが示唆される。

#### b) 音環境

そこで音環境がストレスに及ぼす影響を検討する。ここで音環境の評価方法としては、市街地の音環境が道路における交通騒音に強く影響されることを考慮して、交通騒音のような非定常に大きく変動する騒音レベルを評価・解析することが可能な等価騒音レベル  $L_{Aeq}$  を用いる。この等価騒音レベル  $L_{Aeq}$  は、ある測定時間内の  $N$  個の騒音データに対して次式のように与えられる<sup>7)</sup>。

$$L_{Aeq} = 10 \log \left( \sum 10^{Li/10} \right) - 10 \log N \quad (2)$$

ここで、 $Li$  は第  $i$  番目の騒音データ (単位:  $dB$ ) である。この等価騒音レベル  $L_{Aeq}$  の計測結果の一例として、秋期・江戸川における観測結果を図10に示す。ここでも、無次元唾液アミラーゼ活性の平均値  $\bar{A}$  を合わせて表示する。これより、中間地点や水際地点における等価騒音レベル  $L_{Aeq}$  は幹線道路脇の市街地の値に比べて小さくなっており、水辺におけるストレス軽減効果に対して騒音の影響が見られる。

多くのデータに基づいて音環境がストレス軽減効果に及ぼす影響を見るために、等価騒音レベル  $L_{Aeq}$

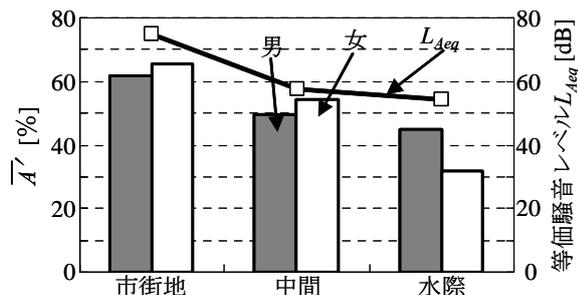


図 10 秋期・江戸川における無次元唾液アミラーゼ活性の平均値  $\bar{A}$  と等価騒音レベル  $L_{Aeq}$

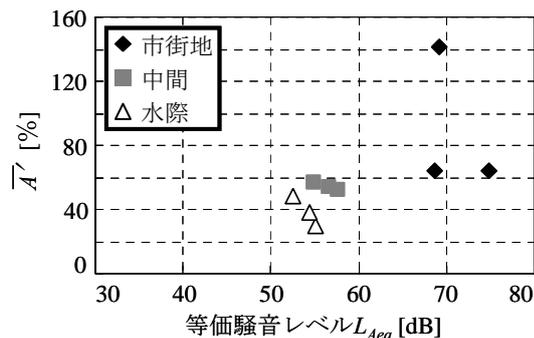


図 11 無次元唾液アミラーゼ活性の平均値  $\bar{A}$  と等価騒音レベル  $L_{Aeq}$  の相関図 (江戸川, 大堀川, 手賀沼)

と無次元唾液アミラーゼ活性の平均値  $\bar{A}$  の相関図を図 11 に示す。ここでは、騒音レベルを計測した秋期のみ結果が記載されている。これより、等価騒音レベル  $L_{Aeq}$  は、水際 < 中間 < 市街地という大小関係となっており、中でも市街地における値が中間地点及び水際の値よりも際立って大きい。また、一般的に見ると、等価騒音レベル  $L_{Aeq}$  と無次元唾液アミラーゼ活性の平均値  $\bar{A}$  は正の相関を示しており、水辺におけるストレス軽減効果に対して騒音による影響が見られる。さらに、同一の等価騒音レベル  $L_{Aeq}$  における無次元唾液アミラーゼ活性の平均値  $\bar{A}$  の値は、水際地点で低く、中間地点で高く、騒音以外の要素がストレス軽減効果に寄与している。これは熱負荷でも説明できないことを確認しており、これら以外の要因（視覚やにおい等）が関連していると推測されるが、それらの解明は今後の課題である。また、本論文では、被験者の数や年代が限られており、かつ、対象水域も十分多いとは言えない。そのため、観測データを積み重ね、かつ、多様な環境調査を行うのが今後必要である。

#### 4. 結論

本研究では、水辺におけるストレス軽減効果の実態やその要因を明らかにするために、唾液アミラーゼ活性をストレスマーカーとして用いて、4 つの試

験エリアを対象に水辺・中間・市街地におけるストレス計測を実施した。試験時には、試験地点到着前に、被験者に不快な音楽を聞かせてストレスを与え、その後のストレス度合いの減少状況を対象地点毎に比べた。得られた主な結論は以下のとおりである。

- (1) 唾液アミラーゼ活性の計測値を不快な音楽鑑賞時の値で除す「無次元唾液アミラーゼ活性」を導入することにより、ストレス調査固有の個人差を減らした形で、水辺におけるストレス軽減効果を抽出し易くなった。
- (2) 無次元唾液アミラーゼ活性の平均値  $\bar{A}$  は、多くの試験エリアにおいて市街地 > 中間 > 水際地点という大小関係となり、水辺におけるストレス軽減効果が顕著である。このような水辺のストレス軽減効果は親水性の高い江戸川・大堀川・手賀沼では高く、親水性の低い江川では相対的に低く、水辺環境の違いによりストレス軽減効果に大きな差が現れた。
- (3) 無次元唾液アミラーゼ活性の平均値  $\bar{A}$  に対する熱環境指標（仮想熱負荷量  $VTL$ ）と音環境指標（等価騒音レベル  $L_{Aeq}$ ）の影響を調べた結果、水際地点で見られる小さな仮想熱負荷量や等価騒音レベルの場合にはストレス軽減効果は全般的に大きく、水辺におけるストレス軽減効果の要因として熱・音環境が大きな役割を果たしていることが示唆された。

**謝辞：** 現地におけるストレス試験実施に際しては、東京理科大学理工学部土木工学科水理研究室学生諸氏に多大なる御助力を頂いた。ここに記して深甚なる謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 吉川勝秀：人・川・大地と環境 自然共生型流域圏・都市に向けて、技報堂出版、pp.69-182, 2004.
- 2) 伊藤一正, 福成孝三, 塚本昇, 吉川勝秀：川での福祉・医療と教育効果の増進に関する研究, 河川技術論文集, Vol.16, pp.459-464, 2010.
- 3) 宮本高行, 重枝実, 杉山滋, 大島章嘉, 富樫聖代子：海辺利用によるリラクセス効果測定調査, *J. Intl. Soc. Life Info. Sci.*, Vol.19, No.1, pp.38-46, 2001.
- 4) 小松寛治, 大須賀滝子, 石川みゆき, 木内利恵, 斎藤孝喜, 工藤浩二, 高橋義輝, 岡部真理, 佐藤義朝, 高橋修三, 小松かずゆ：川の持つ癒し効果について, 河川, No.704, pp.5-11 2005.
- 5) 山口昌樹：唾液マーカーでストレスを測る, 日本薬理学雑誌, Vol.129, No.2, pp.80-84, 2007.
- 6) 神田学, 柳本記一, 宇梶正明：新しい屋外用温熱感指標の提案, 土木学会論文集 No.545/II-36, pp.1-10, 1996.
- 7) 横浜市環境創造局環境監視センター：<http://www.city.yokohama.lg.jp/kankyo/>.

(2011. 5. 19 受付)